

❖ CICLO DI LEZIONI per “Progetto e Misura della Qualità”



LIUC - Università Cattaneo

RISK ANALYSIS

Carlo Noè

Scuola di Ingegneria Industriale

e-mail: cnoe@liuc.it

❖ **RISK ANALYSIS**



Risk Analysis: tecnica che considera il “rischio” come elemento fondamentale per guidare le scelte progettuali di un prodotto o di un servizio.

“**Rischio**”: probabilità attesa che in un “sistema” si verifichino problemi, disguidi, malfunzionamenti che danneggino persone o cose o, più generalmente, provochino perdite.

“**Sistema**”: va inteso in senso lato. Può quindi significare, per esempio, un impianto produttivo complesso, piuttosto che un processo produttivo composto da più fasi, oppure una macchina composta da più parti, o un prodotto elementare, o un servizio, o, ancora in termini del tutto generali, un bene anche immateriale.

❖ **RISK ANALYSIS**

Il termine più corretto col quale chiamare il processo completo di analisi e valutazione dei rischi è in realtà **risk assessment**. La *risk analysis* in sé si completerebbe con il terzo passo ma è comune attribuire questo termine all'intero processo):

1

- Individuazione del sistema da esaminare

2

- Identificazione dei rischi

3

- Stima dei rischi (*risk estimation*)
- Valutazione dei rischi (*risk evaluation*)

4

- Eventuali azioni per la riduzione del rischio

5

- Raggiunto il rischio tollerabile, predisposizione di informazioni per gli utenti sui rischi residui e, se del caso, sulle misure appropriate per ridurli

❖ **RISK ANALYSIS**

Applicando la Risk Analysis si possono pertanto perseguire gli **obiettivi** di:

1

- Valutare il rischio di un sistema.

2

- Sulla base della valutazione del rischio, **progettare o implementare il sistema più sicuro** possibile; quindi: scoprire le aree critiche del sistema (realizzando per maggiore sicurezza eventuali ridondanze); decidere su interventi e modifiche; sviluppare programmi di manutenzione, ecc.

3

- Utilizzare il rischio come uno dei parametri comparativi per valutare sistemi alternativi.

❖ **RISK ANALYSIS**

Come valutare il rischio di un sistema ?

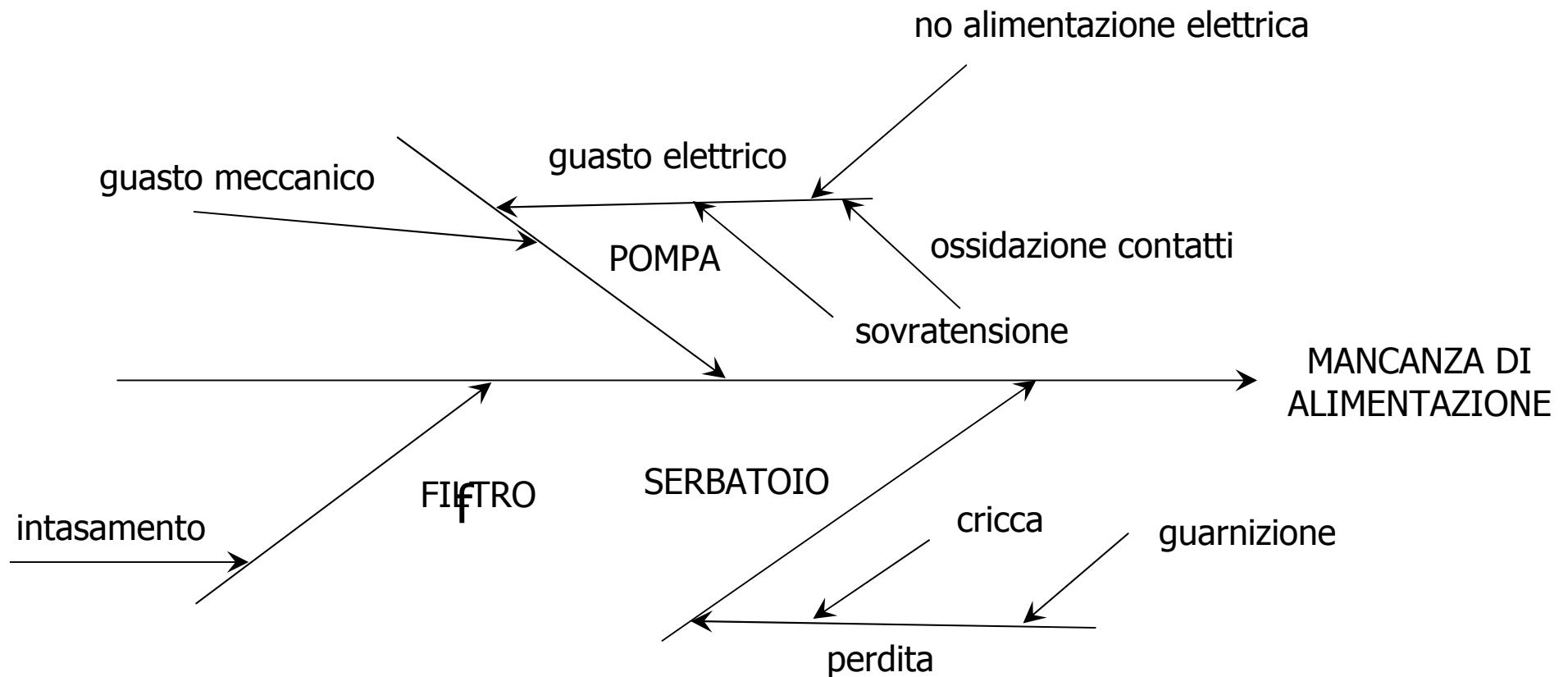
Si può procedere seguendo due approcci:

- 1. Forward:** si parte da un evento che può accadere a un elemento del sistema e si procede in avanti per andare ad analizzare che tipo di inconveniente può generare nel sistema.
- 2. Backward:** si parte dall'inconveniente del sistema e si vanno a cercare le possibili cause che lo determinano.

❖ IL DIAGRAMMA CAUSA-EFFETTO

Il diagramma causa-effetto

(diagramma a lisca di pesce, *fishbone diagram*, diagramma di Ishikawa)



❖ IL DIAGRAMMA CAUSA-EFFETTO

Il diagramma causa-effetto

Due modi per affrontare il problema:

- *Forward*: si valuta che cosa può accadere a un'automobile, per esempio, per il difetto di un componente meccanico della pompa di alimentazione della benzina.
 - **FMEA** (*Failure Mode and Effects Analysis*) e la **FMECA** (*Failure Modes, Effects and Criticality Analysis*)
- *Backward*: risalire, partendo dall'evento finale, per esempio la mancanza di alimentazione, a tutte le cause che la determinano.
 - **FTA** (*Fault Tree Analysis*)

❖ ***FAULT TREE ANALYSIS (FTA)***


Fault Tree Analysis

Usando dunque l'approccio *backward*, la FTA è una tecnica che correla, attraverso porte logiche, gli eventi che provocano un determinato evento finale.

Le relazioni che in questo modo si vengono a creare permettono di costruire un **modello del sistema** che viene rappresentato con una struttura ad albero.

Si possono, di conseguenza, identificare le **relazione causali** fra le variabili di ogni genere che generano l'evento finale nel sistema e valutarne la **probabilità** associata di accadimento.

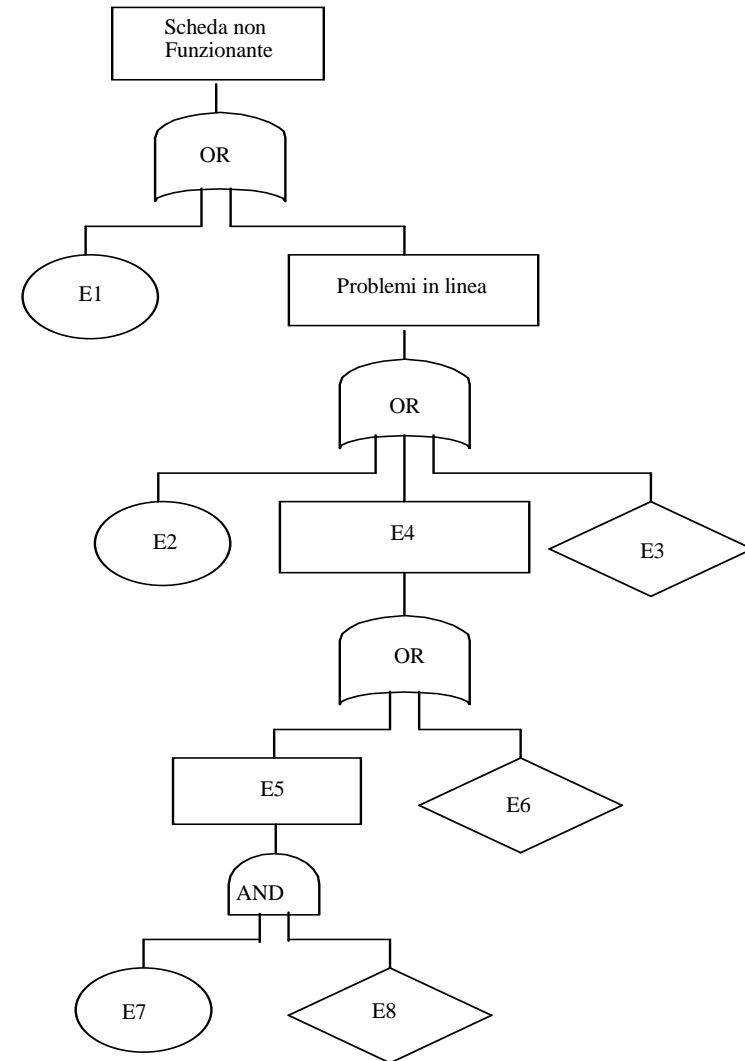
Costruire il *fault tree*

- 
- 1 – Individuare l'evento finale che può verificarsi nel sistema e che si vuole analizzare (*top event*). Si tratta di norma di qualche cosa che non va.
 - 2 – Identificare gli eventi che contribuiscono direttamente al problema del sistema.
 - 3 – Correlare gli eventi trovati con il problema del sistema mediante porte logiche.
 - 4 – Per ogni evento trovato al passo 3, che non si ritiene dettagliato in modo sufficiente, occorre individuare le cause che lo scatenano e correlarle con l'evento mediante porte logiche. Il passo 4 andrà ripetuto fino al livello di dettaglio voluto.

❖ FTA

Sistema: linea di produzione di schede elettroniche

Inconveniente: scheda non funzionante



Dettaglio degli eventi

E1= prelievo non corretto componenti da magazzino;
[intervento diretto]

E2 = Errato caricamento macchine (errore umano); [intervento diretto]

E3 = Mancata alimentazione componenti nella *pick & place*; [si chiama l'assistenza]

E4 = Funzionamento anomalo saldatrice; [continua l'analisi]

E5 = Errato predisposizione parametri saldatura; [continua l'analisi]

E6 = Malfunzionamento alla saldatrice; [si chiama l'assistenza]

E7 = Errata programmazione umana; [intervento diretto]

E8 = Mancato funzionamento sistema autocontrollo saldatrice.
[si chiama l'assistenza]

La **probabilità del *top event*** sarà pari a:

$$p = E1 + E2 + E3 + E6 + E7 * E8$$

Qualora fossero note le probabilità di accadimento associate ai singoli eventi, anche la probabilità di accadimento del *top event* è calcolabile o, quantomeno, stimabile.

❖ **FAILURE MODE, EFFECTS AND CRITICALITY ANALYSIS**

- La FMEA/FMECA venne proposta e sviluppata per la **progettazione affidabilistica** di vettori aerospaziali e di manufatti ad alto rischio per la vita umana.
- La sua applicazione si estese alla definizione di politiche di manutenzione per poi divenire gradualmente una procedura comunemente usata per la garanzia della qualità nella progettazione di prodotti (**FMECA di prodotto**) e processi di produzione (**FMECA di processo**).
- Questa analisi è in definitiva un **approccio metodologico** per:
 - L'analisi a priori di un prodotto/processo di qualsiasi tipo
 - La verifica a posteriori di quanto accaduto nel processo per eventuali nuove progettazioni o interventi migliorativi nel processo.

❖ **FMECA**

- La FMEA/FMECA è uno strumento di tipo induttivo che applica l'approccio *forward*. Prendendo come riferimento la fabbricazione di un manufatto, si devono dettagliare e identificare sistematicamente, per ogni componente del prodotto e le relative fasi di lavorazione, tutti i possibili modi di difetto o malfunzionamento e i loro effetti sul prodotto.
- La **differenza** tra FMEA e FMECA consiste nel fatto che con la tecnica originaria, la FMEA, si può condurre un'analisi solo qualitativa di difetti o malfunzionamenti (*risk estimation*). La FMECA completa il processo con una valutazione della criticità di ogni difetto o malfunzionamento (*risk evaluation*).

Nella prassi comune si usa il termine FMEA anche per indicare l'intero processo di analisi.

L'esecuzione della FMEA :

1

- Identificazione tutti i possibili malfunzionamenti o difetti dei componenti del prodotto.

2

- Per ogni modo di malfunzionamento/difetto dei componenti descrizione degli effetti e delle possibili cause.

3 (FMEA)

- Per ogni modo di malfunzionamento/difetto ricerca delle azioni possibili per ridurre gli effetti (FMEA conclusa).

❖ **FMECA**

Procedendo con la FMECA, si introduce l'analisi di criticità mirante a quantificare il rischio correlabile con il malfunzionamento/difetto base causa di effetti indesiderati sul prodotto.

La criticità di ogni tipo di malfunzionamento/difetto del componente del prodotto è valutata mediante un indice detto "Indice di Priorità di Rischio" (IPR) determinato nel seguente modo:

$$\mathbf{IPR = P * S * D}$$

dove:

P = Probabilità di accadimento del malfunzionamento/difetto base;

S = Severità degli effetti del malfunzionamento/difetto base;

D = Rilevabilità del malfunzionamento/difetto base.

❖ FMECA

3
(FMECA)

- Definizione delle scale di punteggio dei tre parametri P, S, D con i relativi criteri di assegnazione dei punteggi.

4

- Attribuzione dei punteggi ai parametri.

5

- Per ogni modo di malfunzionamento/difetto base calcolare l'IPR.

6

- Valutare e decidere gli interventi da intraprendere in modo da portare tutti gli IPR al di sotto di un valore di soglia prefissato, in funzione del criterio di giudizio scelto. Dovendo definire delle priorità è opportuno intervenire dapprima dove gli IPR sono più alti.

❖ **FMECA**

- Ai tre parametri che concorrono nella determinazione dell'IPR si attribuiscono dunque punteggi sulla base di scale di valori predefinite.
- La scala dei punteggi potrebbe andare, per esempio, da 1 a 10 con valori crescenti in funzione del rischio.
- Quindi:
 - al parametro **P** si attribuisce il valore 1 se il verificarsi del difetto base è improbabile e valori crescenti con l'aumentare della sua probabilità di accadimento;
 - al parametro **S** si attribuisce il valore 1 se l'effetto del difetto è irrilevante e valori crescenti con l'aumentare della sua severità;
 - al parametro **D** si attribuisce il valore 1 se è certo che il difetto possa essere rilevato appena insorge e valori sempre crescenti con lo spostamento della rilevazione sempre più a valle nel processo di produzione/vendita.

❖ FMECA

Esempio di attribuzione del punteggio al parametro P

Percentuale difetti	Punteggio
0,0001	1
0,0002	2
0,0005	3
0,001	4
0,002	5
0,005	6
0,01	7
0,02	8
0,05	9
0,1	10

Il punteggio varia in funzione della **capacità del processo**. Più il processo è capace meno difetti sono introdotti. La capacità di processo è data dal rapporto tra specifiche e risultati.

❖ FMECA

Esempio di attribuzione del punteggio al parametro S.

Effetto	Gravità	Punteggio
Nessuno apparente	Irrilevante	1
Piccola insoddisfazione	Bassa	2
Leggera variazione delle prestazioni		3
Mal funzionamento marginale		4
Discreta insoddisfazione	Moderata	5
Difficoltà nell'utilizzo		6
Grossa insoddisfazione	Alta	7
Fuori uso		8
Rischio di grave danno fisico	Altissima	9
Certezza di grave danno fisico		10

- Il riferimento fondamentale per il punteggio è la percezione che ha un utente della gravità dell'effetto
- Può variare però il modo di intendere l'utente. Naturalmente se non esiste la possibilità di danni fisici all'utente, la scala potrà essere rigraduata in funzione del danno economico arrecabile al sistema di produzione (riduzione della produttività, propagazione nel sistema, sicurezza dell'operatore, ...) o ancora all'utilizzatore finale.

Esempio di attribuzione del punteggio al parametro D

Probabilità della rilevazione		Punteggio
100%	E' impossibile che la lavorazione proceda	1
99.999%	Difetto facilmente visibile	2
99.99%		3
99.9%	Controllo automatico al 100% di un attributo	4
99.8%		5
99.5%	Malfunzionamento/difetto facile da riconoscere	6
99%	Misura dimensionale automatica	7
98%		8
95%	Controllo manuale	9
90%	Impossibilità di controllo (Difetto nascosto)	10

L'indice di rilevabilità è associato alla evidenza del malfunzionamento/difetto e ai controlli che vengono effettuati nel processo. Anche in questo caso si dovrebbe associare un contenuto economico di massima ai vari punteggi.

Criteri per gli interventi

Portare l'IPR al di sotto di un valore soglia X_1 non è assolutamente l'unico criterio di intervento, anche se prioritario.

Altri criteri di intervento potrebbero anche essere i seguenti:

Indice di Probabilità	<	X_2
Indice di Gravità	<	X_3
Indice di Rilevabilità	<	X_4

Dove i singoli indici devono essere portati al di sotto dei valori soglia X_2, X_3, X_4 .

❖ **FMECA**

- La FMECA è un procedimento analitico; occorre pertanto considerare separatamente ogni componente del prodotto e, qualora si svolgesse, una FMECA di processo, ogni fase operativa.
- Per svolgere efficacemente una FMECA si utilizzano normalmente schede strutturate, una per ciascun componente e/o fase di lavorazione.
- Una scheda ben strutturata, oltre all'elencazione di modi, cause ed effetti di difetto/malfunzionamento e alla valutazione degli IPR, deve contenere numerose altre indicazioni utili per:
 - identificare univocamente il componente e/o la fase di lavorazione;
 - risalire a persone ed enti che hanno partecipato all'analisi;
 - esplicitare proposte di azioni correttive.
 -

General Auto spa	FMECA di processo			Denominazione prodotto:					Matricola - n. disegno:									
	Responsabile:	Stabilimento/Fornitore:		Fase del ciclo di lavorazione:					Stato tecnico di modifica:									
				Data di prima compilazione:			Data di rielaborazione:		Pagina 1/4									
Componente	Modi di difetto	Effetti dei modi di difetto	Cause dei modi di difetto	Stato attuale					Azioni correttive			Stato migliorato						
				Misure di controllo previste	P	S	D	IPR	Provvedimenti raccomandati	Responsabilità e tempi previsti	Provvedimenti presi e tempi impiegati	P	S	D	IPR			
Probabilità di verificarsi del difetto: P		Gravità (influsso sul cliente): S		Rilevabilità: D					Indice di priorità di rischio: IPR			Partecipanti		Ente				
Valutazione	Punteggio	Valutazione	Punteggio	Valutazione	Punteggio	Valutazione	Punteggio	Valutazione	Punteggio									
Remota	1	Appena percettibile	1	Alta	1	Basso	1 - 50											
Bassa	2 - 3	Poca importanza	2 - 3	Moderata	2 - 5	Medio	51 - 100											
Moderata	4 - 6	Moderatamente grave	4 - 6	Piccola	6 - 8	Alto	101 - 200											
Alta	7 - 8	Grave	7 - 8	Molto piccola	9	Molto alto	201 - 1000											
Molto alta	9 - 10	Estremamente grave	9 - 10	Improbabile	10													

FMECA di prodotto

- Prodotto: pressa per coniare
- Componente: terminale sferico del cilindro di equilibratura
- Gruppo: impianto di lubrificazione testata e slitta

FMECA di prodotto				Denominazione prodotto: Pressa per coniare					Matricola - n. disegno: 2DM125 - HS						
Responsabile: Assistente direttore tecnico		Stabilimento/Fornitore:		Fase del ciclo di lavorazione:					Stato tecnico di modifica:						
				Data di prima compilazione: 2 settembre 1999			Data di rielaborazione:			Pagina 1/4					
Componente	Modi di difetto	Effetti dei modi di difetto	Cause dei modi di difetto	Stato attuale					Azioni correttive			Stato migliorato			
				Misure di controllo previste	P	S	D	IPR	Provvedimenti raccomandati	Responsabilità e tempi previsti	Provvedimenti presi e tempi impiegati	P	S	D	IPR
Terminale sferico del cilindro di equilibratura	Rottura	Grippaggio pressa + fermo macchina	Tipo del terminale non idoneo	Valutazioni storiche	8	8	6	384	Mettere tipo senza ingrassatore e specificare la sigla esatta all'acquisto	Ufficio tecnico + Ufficio acquisti	Accettato dall'ufficio acquisti sentito l'ufficio tecnico (due mesi)				
			Disallineamento del cilindro nei due sensi	Prova funzionale al montaggio	6	8	2	96	Fare sempre bombatura ai perni cilindrici superiori	Ufficio tecnico	Accettato ufficio tecnico (un mese)				
			Tranciatura pezzi di spessore superiore a 2 mm. Resistenza materiale elevata	Nessuna	6	8	10	480	Applicare riscontro limitatore dello spessore	Ufficio tecnico	Accettato ufficio tecnico (due mesi)				
Probabilità di verificarsi del difetto: P		Gravità (influsso sul cliente): S		Rilevabilità: D			Indice di priorità di rischio: IPR			Partecipanti			Ente		
Valutazione	Punteggio	Valutazione	Punteggio	Valutazione	Punteggio	Valutazione	Punteggio								
Remota	1	Appena percettibile	1	Alta	1	Basso	1 - 50								
Bassa	2 - 3	Poca importanza	2 - 3	Moderata	2 - 5	Medio	51 - 100								
Moderata	4 - 6	Moderatamente grave	4 - 6	Piccola	6 - 8	Alto	101 - 200								
Alta	7 - 8	Grave	7 - 8	Molto piccola	9	Molto alto	201 - 1000								
Molto alta	9 - 10	Estremamente grave	9 - 10	Improbabile	10										

FMECA di prodotto				Denominazione prodotto: Pressa per coniare					Matricola - n. disegno: 2DM125 - HS						
Componente	Modi di difetto	Effetti dei modi di difetto	Cause dei modi di difetto	Fase del ciclo di lavorazione:					Stato tecnico di modifica:						
				Data di prima compilazione: 2 settembre 1999					Data di rielaborazione:			Pagina 2/4			
				Stato attuale					Azioni correttive			Stato migliorato			
				Misure di controllo previste	P	S	D	IPR	Provvedimenti raccomandati	Responsabilità e tempi previsti	Provvedimenti presi e tempi impiegati	P	S	D	IPR
Impianto di lubrificazione testata e slitta	Rottura piedini ancoraggio elettropompa	Rottura elettropompa	Posizione e staffaggio elettropompa non idoneo	Nessuna	9	8	10	720	Inserire antivibranti nell' ancoraggio e usare terminali tubi flessibili oppure posizionare l' elettropompa all' esterno della pressa	Ufficio tecnico	Accettato dall' ufficio tecnico (due mesi)				
	Rottura giunto tra la pompa di lubrificazione e la testata	Fermo macchina	Giunto non idoneo	Nessuna	9	9	10	810	Ricerca di mercato per pompe più resistenti	Ufficio acquisti + ufficio tecnico	Accettato dall' ufficio acquisti sentito l' ufficio tecnico (due mesi)				
Probabilità di verificarsi del difetto: P		Gravità (influsso sul cliente): S		Rilevabilità: D				Indice di priorità di rischio: IPR		Partecipanti		Ente			
Valutazione	Punteggio	Valutazione	Punteggio	Valutazione	Punteggio	Valutazione	Punteggio								
Remota	1	Appena percettibile	1	Alta	1	Basso	1 - 50								
Bassa	2 - 3	Poca importanza	2 - 3	Moderata	2 - 5	Medio	51 - 100								
Moderata	4 - 6	Moderatamente grave	4 - 6	Piccola	6 - 8	Alto	101 - 200								
Alta	7 - 8	Grave	7 - 8	Molto piccola	9	Molto alto	201 - 1000								
Molto alta	9 - 10	Estremamente grave	9 - 10	Improbabile	10										

FMECA di processo

Prodotto: Albero

Assieme: Motorino d'avviamento

Processo: Tornitura

Fase del processo: Ricevimento materiale
rettificato e/o trafilato

FMECA di processo				Denominazione prodotto: Motorino d'avviamento					Matricola - n. disegno: 1927.3 e 1927.7								
Responsabile:		Cliente: Elettromeccanica		Fase del ciclo di lavorazione: Ricevimento materiale rettificato e/o trafilato					Stato tecnico di modifica:								
				Data di prima compilazione: 6 luglio 2000			Data di rielaborazione:			Pagina 1/4							
Componente	Modi di difetto	Effetti dei modi di difetto	Cause dei modi di difetto	Stato attuale					Azioni correttive			Stato migliorato					
				Misure di controllo previste	P	S	D	IPR	Provvedimenti raccomandati	Responsabilità e tempi previsti	Provvedimenti presi e tempi impiegati	P	S	D	IPR		
Albero	Diametro non in tolleranza	Diametro maggiore o minore non lavorabile	Rettificazione o trafilatura non idonea	Certificato dimensionale del fornitore + controllo di 5 barre per fascio	5	10	1	50	Nessun provvedimento								
	Testimone sull'estremità della barra	Testimone sul pezzo	Rettificazione o trafilatura non idonea	Certificato dimensionale del fornitore + controllo di 5 barre per fascio	10	10	4	400	Troncatura estremità barra per 100 mm				6	2	1	12	
	Integrità materiali	Pezzo scarto	Processo produttivo non idoneo	Certificato dimensionale del fornitore + controllo di 1 spezzone per lotto	5	10	10	500	Coinvolgere il fornitore								
Probabilità di verificarsi del difetto: P		Gravità (influsso sul cliente): S		Rilevabilità: D			Indice di priorità di rischio: IPR			Partecipanti			Ente				
Valutazione	Punteggio	Valutazione	Punteggio	Valutazione	Punteggio	Valutazione	Punteggio										
Remota	1	Appena percettibile	1	Alta	1	Basso	1 - 50										
Bassa	2 - 3	Poca importanza	2 - 3	Moderata	2 - 5	Medio	51 - 100										
Moderata	4 - 6	Moderatamente grave	4 - 6	Piccola	6 - 8	Alto	101 - 200										
Alta	7 - 8	Grave	7 - 8	Molto piccola	9	Molto alto	201 - 1000										
Molto alta	9 - 10	Estremamente grave	9 - 10	Improbabile	10												

FMECA di processo

Prodotto: Rilevatore magnetico

Assieme: Copricalamita

Processo: Montaggio automatico

Fase del processo: Ribaditura del mozzo sul
copricalamita

FMECA di processo				Denominazione prodotto: Rilevatore magnetico					Matricola - n. disegno:						
Responsabile:		Stabilimento/Fornitore:		Fase del ciclo di lavorazione: Montaggio automatico					Stato tecnico di modifica:						
				Data di prima compilazione:				Data di rielaborazione:			Pagina 1/4				
Componente	Modi di difetto	Effetti dei modi di difetto	Cause dei modi di difetto	Stato attuale					Azioni correttive			Stato migliorato			
				Misure di controllo previste	P	S	D	IPR	Provvedimenti raccomandati	Responsabilità e tempi previsti	Provvedimenti presi e tempi impiegati	P	S	D	IPR
Copricalamita	Foro mozzo fuori tolleranza	Forzatura del perno indice: Insufficiente Eccessiva	Precisione di lavorazione Deformazione dopo ribaditura		3	6	9	162	Controllo 100% carico forzatura perno			3	6	1	18
	Ribaditure mal eseguita	Rottura del gruppo	Punzone usurato Regolazione macchina		5	10	1	50	Sensore regolazione ribaditura			2	10	1	20
	Squilibrato	Vibrazione dell'indice	Precisione di lavorazione Ribaditura mal eseguita		4	7	4	112	Equilibratura 100% e controllo 100%			2	7	1	14
Probabilità di verificarsi del difetto: P		Gravità (influsso sul cliente): S		Rilevabilità: D			Indice di priorità di rischio: IPR			Partecipanti		Ente			
Valutazione	Punteggio	Valutazione	Punteggio	Valutazione	Punteggio		Valutazione	Punteggio							
Remota	1	Appena percettibile	1	Alta	1		Basso	1 - 50							
Bassa	2 - 3	Poca importanza	2 - 3	Moderata	2 - 5		Medio	51 - 100							
Moderata	4 - 6	Moderatamente grave	4 - 6	Piccola	6 - 8		Alto	101 - 200							
Alta	7 - 8	Grave	7 - 8	Molto piccola	9		Molto alto	201 - 1000							
Molto alta	9 - 10	Estremamente grave	9 - 10	Improbabile	10										

❖ FMECA

Conduzione dell'analisi: le funzioni aziendali coinvolte (fonte: Bosch)

Funzione aziendale	FMECA di prodotto			FMECA di processo			Contributo all'analisi
Coordinamento della FMECA							Metodi di conduzione
Progettazione ¹							Progetto
Collaudo generale							Conseguimento delle funzioni
Collaudo prestazionale							Durata, resistenza al clima, ...
Tecnico - commerciale							Specifiche
Assistenza							Servizio al cliente
Ingegnerizzazione ²							Fattibilità, procedure di test e collaudo
Assicurazione qualità							Assicurazione qualità e affidabilità
Produzione							Produzione
Acquisti							Approvvigionamenti esterni

Tempo →

1: responsabile della FMECA di prodotto; 2: responsabile della FMECA di processo

Criteria per l'attribuzione dei punteggi ai parametri P, S e D.

- Per l'attribuzione dei punteggi ai parametri P, S e D, è impossibile definire criteri di applicazione di valenza assolutamente generale.
- In funzione del prodotto o del processo che si sta considerando i punteggi devono pertanto essere assegnati in modo originale.
- La scala da 1 a 10 è usata in numerose applicazioni. In realtà è comunque compito di chi svolge l'analisi l'attribuzione della scala di punteggi che ritiene più opportuna.
- Se possibile, si dovrebbe mirare ad associare alla riduzione o alla crescita del punteggio un valore economico. Ridurre il valore di un indice, per esempio, da 7 a 6 dovrebbe costare grosso modo quanto ridurlo da 4 a 3.
- Per l'attribuzione dei punteggi ai parametri P, S e D si possono seguire criteri che si fondano su basi sia quantitative che qualitative. Nel primo caso i risultati sono senza dubbio più affidabili ma è fondamentale poter disporre di un insieme di dati storici o acquisibili all'occorrenza molto ampio e completo. A titolo di esempio (FMECA di processo), avendo raccolto nel tempo elementi sufficienti per qualificare il processo, il parametro P potrebbe essere valutato nel modo seguente:

❖ FMECA

Criteria per l'attribuzione dei punteggi ai parametri P, S e D.

Capacità e stabilità del processo	Parti difettose rilevate x 10000	Punteggio
Capace e perfettamente stabile	< 0,1	1 - 2
Capace e industrialmente stabile	0,1 - 0,4	3 - 4
Insufficiente e industrialmente stabile	0,4 - 3,5	5 - 6
Inadeguato e industrialmente stabile	3,6 - 10	7 - 8
Inadeguato e instabile	> 10	9 - 10

Il margine di discrezionalità (tra 1 e 2, tra 3 e 4, ecc.) si risolve in funzione della difettosità effettivamente riscontrata.

❖ **FMECA**

Criteri per l'attribuzione dei punteggi ai parametri P, S e D.

Per il parametro S una soluzione adottabile potrebbe consistere nella stima di una sorta di NPV associato al prodotto per ogni tipo di inconveniente si voglia considerare calcolato come:

$$NPV = \sum_{i=1}^n NCF_i / (1 + k)^t$$

dove i *net cash flow* (NCF) sono calcolati, in funzione di dati storici o stimati, quali differenze tra le entrate associate al prodotto e le uscite (interventi in assistenza, oneri assicurativi, ...) relative al malfunzionamento/difetto.

Se invece la valutazione della severità dipende dagli effetti del malfunzionamento/difetto sull'impianto produttivo, allora si potrebbero sommare le voci di costo relative al danneggiamento e alla fermata dell'attività produttiva (mancato margine di contribuzione).

Per il parametro D ci si potrebbe riferire al rapporto tra le parti difettose fermate ai punti di controllo nel processo ed il totale dei pezzi difettosi dato dalla somma di parti difettose individuate lungo il processo e resi provenienti dall'utilizzatore finale. L'approccio quantitativo è sicuramente piuttosto problematico.

❖ **FMECA**

Criteri per l'attribuzione dei punteggi ai parametri P, S e D.

- Qualora ci si fondasse su un approccio qualitativo per l'attribuzione dei punteggi ai parametri P, S e D, i risultati sarebbero certamente meno affidabili; tuttavia l'esecuzione dell'analisi sarebbe molto più semplice e si potrebbe comunque pervenire a risultati ragionevolmente affidabili, purché si consolidi nel tempo il modo di procedere.
 1. Un criterio potrebbe essere quello che procede secondo i seguenti passi:
 2. Individuazione di alcuni elementi di giudizio per la valutazione dei tre parametri.
 3. Caratterizzazione degli elementi di giudizio.
 4. Attribuzione dei punteggi ai singoli parametri considerando solamente le combinazioni tra i vari elementi di giudizio ritenute ammissibili.
- Un esempio di elemento di giudizio per il parametro P nel caso di operazioni svolte manualmente consiste nella **difficoltà dell'operazione** che può essere caratterizzata come **alta** o **bassa**. Un secondo elemento di giudizio legato alla macchina operatrice è **la politica di manutenzione cui è sottoposta** che può essere, per esempio, **correttiva** o **preventiva** o **predittiva**.

Criteria per l'attribuzione dei punteggi ai parametri P, S e D

Le combinazioni possibili sono quindi sei:

1. operazione facile, manutenzione correttiva
2. operazione facile, manutenzione preventiva
3. operazione facile, manutenzione predittiva
4. operazione difficile, manutenzione correttiva
5. operazione difficile, manutenzione preventiva
6. operazione difficile, manutenzione predittiva

❖ **FMECA**

Criteria per l'attribuzione dei punteggi ai parametri P, S e D

Per il parametro S si può considerare se **il malfunzionamento/difetto minaccia la sicurezza dell'operatore**, elemento che può essere semplicemente caratterizzato da un **sì** o da un **no**.

Le combinazioni possibili sono quindi due:

- 1 - sicurezza dell'operatore a rischio
- 2 - sicurezza dell'operatore non a rischio

❖ **FMECA**

Criteri per l'attribuzione dei punteggi ai parametri P, S e D

Per il parametro D infine, elemento di giudizio appropriato, di tipo anch'esso **on/off**, è **la presenza di un *test* che rilevi il malfunzionamento/difetto**. Un altro ancora è il **tipo di controllo effettuato**, caratterizzato, per esempio, come controllo del **100%** delle produzione o controllo **statistico** o **assenza** di controllo.

Le combinazioni possibili sono teoricamente sei; tuttavia quelle ammissibili sono solamente tre:

1. stazione di *test* con controllo 100%
2. stazione di *test* con controllo statistico
3. assenza di stazione di *test*

Sono infatti chiaramente **non ammissibili** le combinazioni:

1. assenza di stazione di *test* con controllo 100%
2. assenza di stazione di *test* con controllo statistico
3. stazione di *test* senza controllo

Studio di caso: ruotino di scorta

Il seguente è un caso dove sono stati impiegati i criteri di attribuzione dei punteggi illustrati in precedenza adottando l'approccio qualitativo.

Si tratta del processo di montaggio di ruotini di scorta per automobili svolto parzialmente in automatico e parzialmente in manuale.

Per la valutazione del parametro P, si definiscono elementi di giudizio differenti per le operazioni manuali e quelle automatiche. In particolare, per le operazioni di montaggio manuale gli elementi di giudizio considerati, e le relative caratterizzazioni, sono:

1. la ripetitività dell'operazione (più l'operazione è ripetitiva, minore è la probabilità di commettere errori)
 - alta
 - bassa
2. la difficoltà dell'operazione (maggiore abilità è richiesta, maggiore è la probabilità di commettere errori)
 - alta
 - bassa
3. la presenza di segnalatori, visivi o acustici, che aiutino l'addetto nello svolgimento dell'operazione
 - si
 - no

❖ FMECA

Le combinazioni possibili sono 8 e sono tutte prese in considerazione. Come si può notare, i punteggi sono attribuiti in modo tale da considerare molto più critiche rispetto a tutte le altre le operazioni più difficili, meno ripetitive e senza il supporto di segnalatori. Operazioni verso le quali si dà priorità agli interventi per il miglioramento del processo.

Ripetitività dell'operazione		Difficoltà dell'operazione		Presenza di segnalatori		Punteggio
alta	bassa	alta	bassa	si	no	
X			X	X		1
	X		X	X		2
X		X		X		2
X			X		X	2
	X	X		X		3
	X		X		X	3
X		X			X	4
	X	X			X	9

❖ **FMECA**

Per le operazioni di montaggio automatico, invece, gli elementi di giudizio considerati, e le relative caratterizzazioni, sono:

1. la frequenza delle verifiche del buon funzionamento della macchina operatrice (più sono frequenti, minore è la probabilità di errori)
 - per lotto
 - per turno
 - settimanale
2. la complessità della macchina operatrice (più è complessa, più a rischio è il suo comportamento corretto)
 - alta
 - bassa
3. la presenza di segnalatori, visivi o acustici, che aiutino l'addetto nello svolgimento dell'operazione
 - si
 - no

❖ FMECA

Le combinazioni possibili sono 12, ma non sono tutte prese in considerazione perché si ritiene che la presenza di segnalatori escluda del tutto la probabilità che venga introdotto un difetto.

Le combinazioni si riducono pertanto a 7 e, anche se in modo più attenuato rispetto al caso delle operazioni manuali, si valutano abbastanza più critiche le operazioni più complesse con verifiche sulla macchina compiute saltuariamente.

Presenza di segnalatori		Verifica macchina per			Complessità dell'operazione		Punteggio
si	no	lotto	turno	saltuaria	bassa	alta	
X							1
	X	X			X		2
	X		X		X		2
	X	X				X	2
	X		X			X	3
	X			X	X		4
	X			X		X	7

❖ **FMECA**

Per il parametro S non si ritiene necessario, per il caso in questione, esplicitare i elementi di giudizio particolari e ci si basa pertanto su considerazioni generiche.

Valutazione difetto o guasto	Punteggio
Appena percettibile	1
Poco importante	2 – 3
Moderatamente grave	4 – 6
Grave	7 – 8
Estremamente grave	9 – 10

❖ **FMECA**

Per il parametro D, infine, gli elementi di giudizio considerati, e le relative caratterizzazioni, sono:

1. la fattibilità a valle (è evidente che il difetto è necessariamente rilevato qualora sia impossibile procedere nella lavorazione)

- impossibile
- difficoltosa
- possibile

2. la presenza di controlli nelle postazioni di lavoro successive (possono integrare o sopperire ai controlli della stazione di lavoro)

- si
- no

3. la presenza di segnalatori e controlli, visivi o acustici, che aiutino l'addetto nello svolgimento dell'operazione

- presenti e immediatamente evidenti
- presenti ma da ricercare
- assenti

❖ FMECA

Anche in questo caso di tutte le combinazioni possibili, 18, se ne considerano un numero ridotto, 8, valutando l'infattibilità e la fattibilità difficoltosa a valle indipendenti dalla presenza di segnalatori e controlli nella stessa e nelle successive stazioni di lavoro.

L'assenza di controlli nelle stazioni successive, prioritariamente, e l'assenza di segnalatori e controlli nella stessa stazione di lavoro determinano l'attribuzione dei punteggi più alti, orientando ancora le scelte sugli eventuali interventi da attuare.

Fattibilità a valle			Presenza di segnalatori e controlli			Presenza di controlli successivi		Punteggio
no	difficile	si	evidenti	presenti	assenti	si	no	
X								1
		X	X			X		2
	X							2
		X	X			X		5
		X			X		X	6
		X		X		X		8
		X		X			X	9
		X			X		X	10